

Кількісно оцінити розміри виявлених дефектів типу непровару та пор можна розрахунком:

$$\text{умовний радіус пори (см)} R = \frac{4\sigma}{\delta P \cdot k}, \text{ ширина непровару(см)} b = \frac{2\sigma}{\delta P \cdot k}, \quad (7)$$

де k – коефіцієнт приведення фізичної атмосфери (покази манометра) у розмірність дн/см².

Отже, для першого ступеня підняття контрольного тиску розміри дефектів нещільності шва становлять: пори – $1,1 \cdot 10^{-4}$ см; непровари – $5,4 \cdot 10^{-5}$ см, а для другого – підвищення тиску відповідно $8,7 \cdot 10^{-5}$ см і $4,4 \cdot 10^{-5}$ см.

Висновки: 1. Запропонований і впроваджений варіант компресійного методу неруйнівного контролю якості з повним зануренням бака в акваріум та одночасним 100 % оглядом зварних швів виробу; 2. Розроблене технологічне обладнання для контролю передбачає деформування бака надлишковим тиском повітря до $1,65P_{\text{атм}}$; 3. Залежність кількості виявлених дефектів від надлишкового тиску повітря коректно описується нормальним розподіленням з дещо деформованими асиметрією та ексцесом, що свідчить про позитивний вплив тиску на додаткове розкриття дефектів та їхню кращу фіксацію; 4. Для цього виробу оптимальним є двоступеневий цикл задавання рівня підвищеного тиску у баці: виявлення дефектів при тискові $1,26 \dots 1,39 P_{\text{атм}}$ (витримка 10хв), надалі $1,65 P_{\text{атм}}$ (витримка 2хв); 5. За цього варіанта контролю можливе виявлення граничних за розмірами дефектів: пори – до $8,7 \cdot 10^{-5}$ см, непровари – $4,4 \cdot 10^{-5}$ см.

1. Волченко В.Н. *Вероятность и достоверность оценки качества металлопродукции.* – М.: Металлургия, 1979. 2. *Контроль качества сварки / Под ред. В.Н. Волченко* – М.: Машиностроение, 1975. 3. *Неразрушающий контроль металлов и изделий: Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича* – М.: Машиностроение, 1976. 4. Грановский В.А., Сирая Т.Н. *Методы обработки экспериментальных данных при измерениях.* – Л.: Энергоатомиздат, 1990. 5. Новицкий П.В., Зограф И.Л. *Оценка погрешностей результатов измерений.* – Л.: Энергоатомиздат, 1985. 6. *Справочник по прикладной статистике: В 2-х т. Т.1. / Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина.* – М.: Финансы и статистика, 1990.

УДК 681.51.

В.І. Білобородченко, С.В. Білобородченко*

Національний університет “Львівська політехніка”,

*Військовий інститут ім. П. Сагайдачного

КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ ПАЛИВНИХ БАКІВ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

© Білобородченко В.І., Білобородченко С.В., 2006

Розглянуто питання керування якістю шовного зварювання за результатами контролю компресійним методом. Встановлено, що показники виявлення дефектів залежать від тиску залишкового повітря у клин-шпарині відбортовки, утвореної під час дії термодеформаційного циклу зварювання. Рівень залишкових напружень у металі біляшовної зони є недостатнім для формування дефектів типу наскрізної нещільності шва баку.

The questions of reliability of control of quality of the welded stitches of fuel tank are considered by a compression method. It is set, that at existent technology of control exactness of results is limited by the presence of remaining air in sheli-kappilyare, created by influencing of thermo-deformation cycle of welding in the gap of the welded leaves. The level of remaining tensions in a metal after welding is insufficient for education in the metal of defects violating impermeability of tank.

Під час розроблення оптимальної технології шовного контактного зварювання паливних баків [1] основними критеріями якості формування зварного замкненого шва слугували його геометричні параметри та механічна міцність з'єднання.

Такий підхід є необхідним, проте недостатнім оцінним критерієм експлуатаційної надійності виробу, оскільки обов'язковою до виконання має бути вимога герметичності всіх зварних швів – як виконаних контактним зварюванням (з'єднання за периметром відбортовки напівбаків), так й дуговим (зварювання у захисному газі патрубків та горловин).

Виконання умови заданої герметичності виробу на весь термін експлуатації об'єктивно ускладнюється відсутністю через впровадження нового матеріалу конструкції, додаткової операції нанесення протекторного шару бакеліту, який певною мірою виконує роль додаткового герметизуючого шару.

Основною причиною втрати герметичності зварних з'єднань є дефекти нещільності наскрізного типу: шпарові канали, тріщини, непровари [2,3], утворені внаслідок порушення режимів складально-зварювальних операцій при виготовленні виробу або дефекти несущільності матеріалу, які формуються під час його експлуатації під дією динамічних та ударних термомеханічних навантажень – холодні тріщини, тріщини втоми, структурні зміни матеріалу тощо [4].

Виявити такі вторинні дефекти можливо лише у разі періодичного контролю в процесі експлуатації та ремонтних зварювальних робіт; у виробничому контрольному циклі їх не констатують.

Вибір методу контролю залежить від класу герметичності виробу та контрольної чутливості. Неруйнівний контроль зварного паливного бака проводять за нормами підприємства – відповідно до ГОСТ3248–72, ГОСТ4.27–71, ГОСТ4.28–71, ГОСТ18353–73 компресійним пухирковим методом за варіантом часткового занурення виробу в акваріум.

Робочим контрольним тілом є стиснуте повітря (гранична чутливість методу $5 \cdot 10^{-2}$ л мкм/с), що дає змогу виявити надкапілярні ($d_{\text{умов.}} \geq 0,5 \text{ мм}$) та макрокапілярні ($0,5 \geq d_{\text{умов.}} \geq 2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$) дефекти несущільності зварного шва. Результати випробовувань оцінюють за альтернативною ознакою.

Результати контролю за технологією підприємства (укрупнено: наддув бака до надлишкового тиску $3-7\%P_{\text{атм.}}$, часткове занурення окремих ділянок швів за вертикального розміщення бака під кутом 15° у воду, візуальний огляд з витримкою протягом 3–5 хв) демонструють його основні недоліки: а) не встановлено контрольні характеристики герметичності, адекватні експлуатаційній непроникності виробу, оскільки за фізико-хімічними показниками контрольна речовина (газ) є відмінною від робочого середовища (паливо); б) неможливість підняття контрольного рівня тиску в баці через відсутність жорсткої фіксації розвинутих площин поверхні та імовірності втрати геометричних параметрів виробу через те, що оператор тримає руками частково занурений вертикально у акваріум бак; в) наявність артефактів процесу контролю у вигляді окремих бульбашок повітря, які дефектоскопіст оцінює як зону нещільності шва.

Останнє перевіряли шляхом вирізання таких зон шва та їх додатковим контролем методами кольорово-люмінесцентної дефектоскопії та металографії і не підтвердило результати компресійно-пухиркового методу за тим варіантом, який застосовано на виробництві.

Для додаткового аналізу подібних суперечливих оцінок якості виробів розглянуто питання впливу рівня полів залишкових напружень у біляшовній зоні (рис.1), які розраховані відповідно до [5,6], а також процеси капілярних явищ у вільних від шва зазорах листової відбортовки конструкції.

У першому випадку вихідні дані такі: ширина відбортовки – $2B=10 \text{ мм}$; товщина листів – $\delta=1,5 \text{ мм}$; фізико-механічні та теплофізичні властивості матеріалу – $\sigma_T=315 \text{ МПа}$, $c_\gamma=5,2 \text{ Дж/см}^3 \text{ с}$; питома теплова потужність та швидкість зварювання – $q_0=1289 \text{ Дж/см}^2$, $v_{\text{зв}}=1,1 \text{ мм/с}$. Припущення, прийняті для розрахунку – крайові умови симетричні відносно осі шва.

Розрахована величина зони пластичності становить

$$B_{\text{пл}} = \frac{0,484}{c_\gamma} \frac{q_0}{T^0} = 1,9 \text{ мм} \quad (1)$$

Загальна площа зони пластичних деформацій $F_{\text{пл}} = 2B_{\text{пл}} \sigma = 11,4 \text{ мм}^2$ при загальній площі перерізу відбортовки $F = 2B\delta = 30 \text{ мм}^2$, що обумовлює величину залишкових напружень на рівні

$$\sigma = \frac{\sigma_T F_{nl}}{F - F_{nl}} = 193 \text{ МПа} \quad (2)$$

Отже, рівень залишкових напружень недостатній для втрати суцільності матеріалу, проте сприяє формуванню клиноподібного капілярного зазору.

Аналіз капілярних явищ проведений за таких умов: початкові складальні зазори відбортовки лежать на рівні $\delta_3 < 0,2^{+0,1}$ мм [3]; погонна енергія зварювання $q_{II} = 1056$ кал/мм ($q_{II} = \frac{2q\delta_1}{2\delta_1 + \delta_2}$; $\delta_1 = \delta_2 = 1,5$ мм; $q = 7300$ Вт); висота литого ядра шва $h_{я} = (0,75 \dots 0,85)2\delta = 2,3$ мм, ширина шва $B_{ш} = 6$ мм.

Для оцінювання розмірів утвореного після зварювання клино-капіляру на відбортовці використані екстраполяційні та розрахункові методи для даних, наведених у [5,6] (рис.2,3).

За результатами графічного рішення величина кутового повороту листів відбортовки після шовного контактного зварювання становить $\beta = 3^\circ$. Кут розкриття уточнюють відповідно до [5]

$$\beta = 0,1 \left(\frac{h_{я}}{2\delta} - 0,1 \right) = 0,067 \text{ рад}, \quad \beta = 3,8^\circ \quad (3)$$

Тоді з урахуванням складального зазору листів під зварювання розкриття клино-капіляру становить $C = 0,46 \dots 0,5$ мм. Реальні усереднені значення розкриття, виміряні оптично-інструментальним способом, становлять $0,35 \dots 0,5$ мм. Розбіжність величини розкриття обумовлена ущільнювальним впливом зусилля притискання електродних роликів, особливо в зонах зварювання радіусів на кутових заокругленнях бака

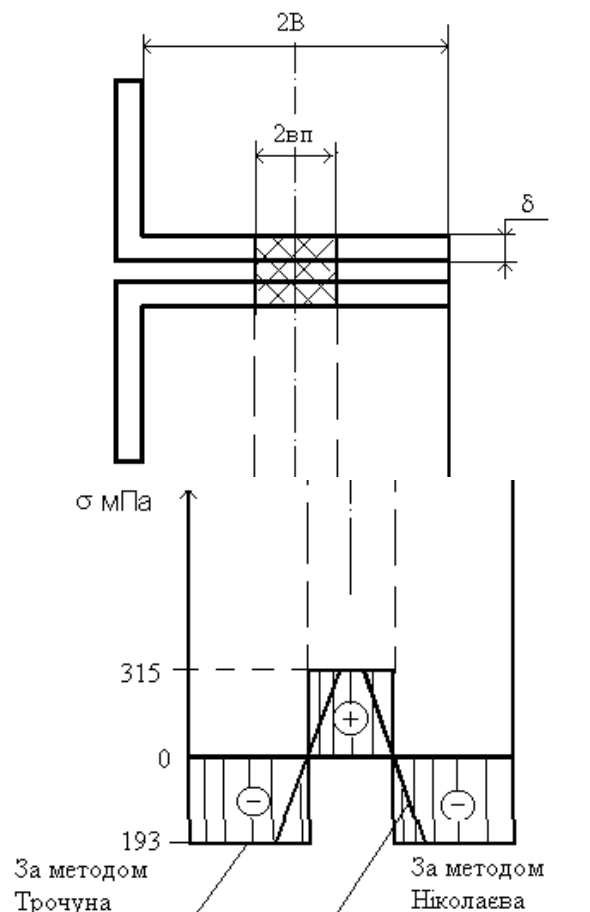


Рис. 1. Епюра залишкових напружень у зварному з'єднанні

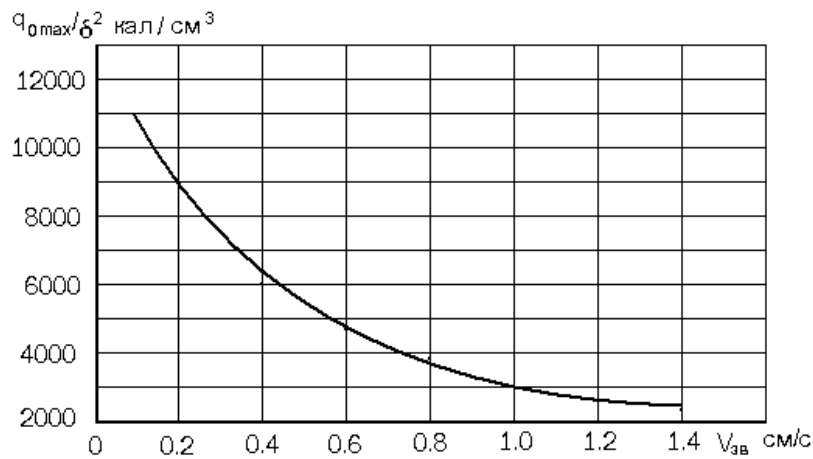


Рис. 2. Залежність питомої теплової енергії зварювання $\frac{q_{0max}}{\delta^2}$ від швидкості переміщення теплового джерела V_{zv} .

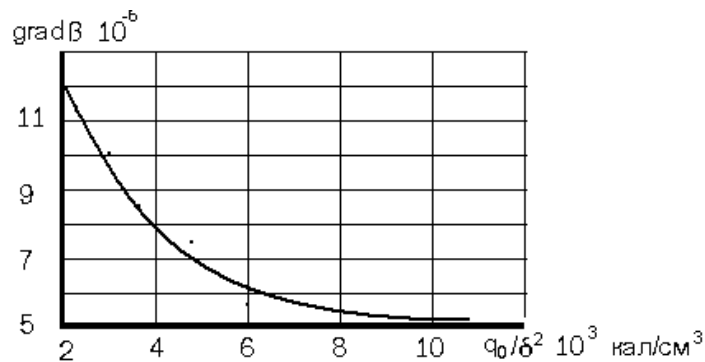


Рис.3. Залежність інтенсивності зміни кута повороту β (рад) листа від питомої теплової енергії зварювання $\frac{q_{0max}}{\delta^2}$

Фізичні процеси затікання води у клино-капіляр оцінювали за такими умовами: коефіцієнт проникнення води $\sqrt{\frac{\sigma}{2\eta}} = 60 \text{ м с}^{-1/2}$, питома поверхнева енергія $\sigma = 73 \text{ ерг/см}^2$, кінетична в'язкість $\eta = 0,0184 \text{ г/см с}$ [7]. Для прийнятого кута змочування $\cos \theta \rightarrow 1$ швидкість затікання на одиницю довжини контрольованого шва становить

$$VL = \cos \theta \left(\sqrt{\frac{\sigma}{2\eta}} \right)^2 = 3600/L \text{ м/с} \quad (4)$$

Тиск залишкового повітря у клино-капілярі становить

$$P_K = \frac{2\sigma \cos \theta}{C} = 3.12 \cdot 10^3 \text{ г/с}^2 \text{ см} \quad (5)$$

Глибина затікання h у зазор при атмосферному тиску $P_0 = 1,013 \cdot 10^6 \text{ дн/см}^2$ та глибині клину $h_0 = 2 \text{ мм}$ становить

$$\frac{L^2}{3600 \cos \theta} = \frac{h^2}{2P_K} + \frac{P_0 h^3}{3 P_K h_0} + \frac{P_0 (P_K + P_0) h^4}{4 P_K^3 h_0^2} = 1.13 \text{ мм}; L = 1200 \text{ мм} \quad (6)$$

$$\frac{L^2}{3600 \cos \theta} \equiv \frac{\tau C^2}{12 \eta},$$

де τ – час затікання рідини у капіляр.

З (5,6) випливає, що у клин-капілярі залишається повітря під тиском $P_k=3,12 \cdot 10^3 \text{ г/с}^2 \text{ см}$, яке заповнює капіляр на 43 % його висоти і у разі коливання бака на технологічний кут контролю $\pm 15^\circ$ у вертикальній площині може відходити окремими бульбашками, утворюючи псевдодефектні зони шва. Об'єктивно цьому сприяє формування деформаційної хвилястості листів відбортовки у разі прихоплення точковим зварюванням під час складання на півбаки. Особливо це спостерігається на шві радіусів заокруглення бака (93 % спостережень), де через утворений "гофр" металу клин-капіляр трансформується в окремі комірки.

Висновки. 1. Існуюча технологія неруйнівного контролю герметичності виробу за альтернативною ознакою (наявність/відсутність пухирців повітря над дефектами) характеризується значним ступенем перебракування готових баків через артефакти контролю; 2. Наявність артефактів обумовлена залишковим повітрям у клино-капілярі, який не дає змоги повного заповнення зазору листів відбортовки водою (47 % висоти капіляру); 3. Незначний випробувальний тиск повітря у баці через необхідність дотримання незмінності геометрії корпусу заважає, за відсутності контрольних характеристик герметичності, адекватних експлуатаційній щільності зварних швів виробу з рідким робочим тілом (паливо), виявити всі дефекти втрати суцільності металу; 4. Залишкові зварні напруження у відбортовці не впливають на втрату герметичності виробу.

1. Білобородченко В.І., Білобородченко С.В. Оптимізація процесу шовного контактного зварювання паливних баків вантажного автотранспорту // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" – Львів. – 2005. – № 535. – С.3–8. 2. Волченко Н. В. Контроль качества сварки. – М.: Машиностроение, 1975. 3. Орлов Б.Д., Дмитриев Ю.В., Чакалев А.А. Технология и оборудование контактной сварки. – М.: Машиностроение, 1975. 4. Каховский Н.И. Сварка высоколегированных сталей. – К.: Техника, 1975. 5. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование. – М.: Высшая школа, 1990. 6. Серенко А.К., Крумбольд М.Н., Багрянский К.В. Расчет сварных соединений и конструкций – К.: Вища школа, 1977. 7. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976.